Relaciones entre parámetros de fertilidad química y retención de agua en suelos desarrollados sobre calizas margosas y calizas duras

Edelweïss FARRÚS y Jaume VADELL

SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA NATURAL DE LES BALEARS

Farrús, E. y Vadell, J. 2002. Relaciones entre parámetros de fertilidad química y retención de agua en suelos desarrollados sobre calizas margosas y calizas duras. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 45: 117-124. ISSN 0212-260X. Palma de Mallorca.

A partir de 24 muestras de distintas capas correspondientes a seis suelos desarrollados sobre calizas margosas y cinco sobre calizas duras se estudian las relaciones entre las fracciones texturales más finas (limos y arcillas), la caliza activa y la materia orgánica con la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el agua retenida en el punto de marchitez permanente (PMP; -1,5 MPa). También se evalúa la contribución de las fracciones orgánica y mineral de cada una de las muestras en la CIC y el PMP. La ecuación de regresión múltiple obtenida entre las variables arcillas, materia orgánica y caliza activa con la CIC presenta un coeficiente de determinación elevado (R^2=0,92); del mismo modo ocurre con las mismas variables y los limos con el PMP (R^2=0,93) y entre la CIC y el PMP (r^2=0,93). Estos altos coeficientes de determinación sugieren que estas ecuaciones pueden ser un instrumento útil en el desarrollo de funciones de transferencia edáfica en estos suelos.
Palabras clave: *Islas Baleares, funciones de transferencia edáfica, suelos calcáreos, capacidad de intercambio catiónico, punto de marchitez permanente.*

RELACIONS ENTRE PARÀMETRES DE FERTILITAT QUÍMICA I RETENCIÓ D'AIGUA A SÒLS DESENVOLUPATS SOBRE CALCÀRIES MARGOSES I CALCÀRIES DURES. A partir de 24 mostres de distintes capes corresponents a sis sòls desenvolupats damunt calcàries margoses i cinc damunt calcàries dures s'estudien les relacions entre les fraccions texturals més fines (llims i argiles), la calcària activa i la matèria orgànica amb la capacitat d'intercanvi catiònic (CIC) i l'aigua retinguda en el punt de marciment permanent (PMP; -1,5 MPa). També s'avalua la contribució de les fraccions orgànica i mineral de cada una de les mostres en la CIC i el PMP. L'equació de regressió múltiple obtinguda entre les variables argiles, matèria orgànica i calcària activa amb la CIC presenta un coeficient de derminació elevat (R^2=0,92); de la mateixa manera succeeix amb les mateixes variables i els llims amb el PMP (R^2=0,93) i entre CIC i el PMP (r^2=0,93). Els alts coeficients de determinació obtinguts suggereixen que aquestes equacions poden esser un instrument útil en el desenvolupament de funcions de transferència edàfica en aquests sòls.
Paraules clau: *Illes Balears, funcions de transferència edàfica, sòls calcaris, capacitat d'intercanvi catiònic, punt de marciment permanent.*

RELATIONSHIPS BETWEEN PARAMETERS OF CHEMICAL FERTILITY AND WATER RETENTION IN SOILS DEVELOPED ON MARL LIMESTONES AND HARD LIMESTONES. From 24 samples of different layers of six soils developed on marl limestones and five on hard limestones we studied relationships existing between finer textural fractions (silt and clay) fine carbonates and organic matter with cation

exchange capacity (CEC) and water retention at permanent wilting point (PWP; -1,5 MPa). We also evaluated the contribution of the organic and mineral fractions of each of the samples on CEC and PWP. The multiple regression equation obtained for the variables clay, organic matter, and fine carbonates with CEC show a high coefficient of determination (R^2=0,92) and the same happens with the same variables and silt with PWP (R^2=0,93) and between CEC and PWP (r^2=0,93). These high coefficients of determination suggest that these equations can be a useful instrument in the development of pedotransfer functions in these soils.
Keywords: *Balearic Islands, pedotransfer functions, calcareous soils, cation exchange capacity, permanent wilting point.*

Edelweïss FARRÚS y Jaume VADELL, Departament de Biologia, Universitat de les Illes Balears. 07071, Palma de Mallorca.

Recepció del manuscrit: 14-oct-02; revisió acceptada: 12-des-02.

Introducción

Las partículas finas y la materia orgánica son los componentes más determinantes sobre las propiedades físicas y químicas de un suelo. A partir de ellos podemos inferir cualidades como la fertilidad química o la capacidad de retención de agua.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) indica la capacidad de un suelo para adsorber en la superficie de las partículas cationes. Dicha retención es posible gracias a las descompensaciones de cargas eléctricas presentes en los minerales de arcilla y en las substancias húmicas del suelo. La cantidad de cargas eléctricas negativas generadas estará en función de la naturaleza y la cantidad en que se encuentren presentes los minerales de arcilla y la materia orgánica .

La existencia de estas relaciones ha propiciado el desarrollo de numerosas ecuaciones para la predicción de la CIC a partir de los contenidos en materia orgánica y en arcillas (fracción granulométrica de partículas inferiores a 2 μm), pudiendo añadirse en algunos casos otros parámetros como el pH, el contenido en limos o en carbonatos (Bell y van Keulen, 1995; Saña *et al.*, 1996; Bigorre *et al.*, 2000).

El uso del contenido en arcillas para inferir la CIC y otros parámetros relacionados con los minerales de arcilla exige tener en cuenta una serie de consideraciones: la fracción granulométrica arcillas incluye la mayor parte de minerales de arcilla presentes en el suelo, además de otros componentes minerales (carbonatos, cuarzo, hidróxidos,...). Mientras que en los métodos para la determinación de la textura en suelos no calcáreos es habitual un pretratamiento ácido para eliminar restos de carbonatos, en los suelos calcáreos se evita su destrucción de los carbonatos, ya que su eliminación puede alterar de forma substancial la composición del suelo (Porta *et al.*, 1986). De este modo, en algunos suelos calcáreos la caliza activa (carbonatos de tamaño inferior a 50 μm, correspondientes a las fracciones granulométricas limos y arcillas) puede suponer un porcentaje importante.

Las ecuaciones de predicción de la CIC varían en función de la naturaleza de los suelos, siendo la contribución de la materia orgánica claramente superior a la aportación de las arcillas (habitualmente entre 3 y 8 veces superior).

La retención de agua por el suelo a potenciales hídricos bajos está en función de la superficie específica de las partículas del suelo (superficie de las partículas respecto a su masa). En las fracciones granulométricas más finas y las substancias húmicas es donde la superficie específica adquiere los valores más elevados. De forma similar como ocurre con la CIC, la superficie específica de los minerales de arcilla depende de la naturaleza de estos, alcanzando los valores más elevados en las arcillas expandibles (Brady y Weil, 1996). Con el objetivo de poder estimar el agua retenida en un suelo se han desarrollado

numerosas ecuaciones de predicción. Para el cálculo del agua retenida a nivel del punto de marchitez permanente (PMP; -1,5MPa) las ecuaciones propuestas se basan en la participación de la materia orgánica (parámetro con mayor peso relativo) y distintas fracciones granulométricas, con una contribución inversamente proporcional al tamaño de las partículas (Saña *et al.*, 1996; Wösten *et al.*, 2001).

La estimación de parámetros edáficos no medidos a partir de otros medidos se ha convertido en un objetivo para numerosos investigadores. La dificultad en la cuantificación de ciertos parámetros unido a la no disponibilidad de estas medidas en estudios ya realizados ha estimulado el desarrollo de ecuaciones de regresión que establecen las relaciones entre distintos parámetros del suelo. Existen numerosos ejemplos de ecuaciones de predicción referenciados a lo largo del siglo XX, pero es en 1989 cuando se acuña el término "función de transferencia edáfica" (Bouma, 1989) para referirse a estas ecuaciones de predicción. En el campo del estudio de las características hídricas de los suelos es donde inicialmente más se han usado estas metodologías (Pachepsky y Rawls, 1999; Wösten *et al.*, 2001), pero su aplicabilidad se extiende a todos los parámetros edáficos físicos, químicos o biológicos entre los que pueda establecerse alguna relación (McBrantney *et al.*, 2002).

En general, la aplicabilidad de estas ecuaciones de predicción se limitan a áreas concretas, en suelos de naturaleza similar.

En el presente trabajo se estudian las relaciones de la CIC y el PMP con la textura, el contenido de materia orgánica y el contenido de carbonatos correspondientes a la fracción fina (caliza activa) en 24 muestras de once suelos desarrollados sobre calizas margosas y calizas duras. A partir de ecuaciones de regresión se realiza una aproximación a los componentes del suelo estudiados y se proponen funciones de transferencia edáfica para la determinación de la CIC y el PMP en suelos de naturaleza similar.

Este trabajo complementa un trabajo anterior realizado sobre los mismos suelos (Farrús *et al.*, 2002).

Material y métodos

El estudio se ha realizado a partir de 24 muestras de suelo correspondientes a distintas capas de once suelos, seis de los cuales se situan sobre calizas margosas y los cinco restantes sobre calizas duras.

El área de estudio se localiza en el noroeste de la isla de Mallorca y los once suelos se sitúan en un transecto, incluyendo las dos litologías antes mencionadas, varias posiciones geomorfológicas y están sometidos a distintos tipos de gestión (Farrús *et al.*, 2002).

La textura se ha determinado mediante el método de la pipeta Robinson. La caliza activa, siguiendo el método de Nijelsohn. La materia orgánica se ha calculado a partir del carbono orgánico, multiplicando por el factor de conversión 1,724. El carbono orgánico se ha determinado siguiendo el método de Walkey y Black. La capacidad de intercambio catiónico se ha cuantificado saturando la muestra con acetato amónico. Para determinar el agua retenida a -1,5 MPa (PMP) se han saturado con agua las muestras de tierra fina y se han sometido a una presión de 1,5 MPa en una cámara de presión. En el momento que no pierden más agua (tres días) se determina el porcentaje de humedad.

Farrús *et al.* (2002) describen los suelos a los cuales corresponden las muestras estudiadas, las metodologías aplicadas y los resultados obtenidos. En el presente trabajo se sigue el mismo criterio para la identificación de las muestras: los suelos desarrollados sobre calizas margosas del Cretácico se representan con el prefijo "C" y los desarrollados sobre calizas duras del Jurásico se representan con la letra "J".

Las ecuaciones de regresión se han calculado mediante el programa estadístico *StatView 4.0* para *Macintosh*.

Resultados y discusión

Relación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) con otros parámetros

En la Tabla 1 se indican los valores de CIC

Tabla 1. Capacidad de intercambio catiónico (CIC; $cmol_c/kg$) y agua retenida a -1,5 MPa (PMP; porcentaje en peso).

Table 1. *Cation exchange capacity (CEC; $cmol_c/kg$) and water retention at -1,5 MPa (PWP; percent by weight).*

Perfil	Capa (cm)	CIC ($cmol_c/kg$)	PMP (%)
C-1	0-18	8,9	6,5
C-2	0-10	16,4	10,8
	10-24	13,1	9,6
C-3	0-18	11,5	8,4
	18-40	12,6	9,0
	40-65	11,5	9,2
	65-81	12,5	9,6
	81-120	15,5	10,9
C-4	0-7	11,2	9,0
	7-20	11,4	9,3
C-5	0-10	22,5	13,3
	10-18	16,9	12,4
C-6	0-8	10,0	9,0
	8-22	10,5	9,3
J-1	0-12	20,4	14,3
	12-27	19,1	14,0
J-2	0-8	21,6	14,2
	8-16	20,0	14,3
	16-42	19,7	14,8
J-3	0-12	23,9	15,4
J-4	0-12	21,9	16,0
	12-25	21,0	15,5
J-5	0-11	30,4	18,0
	11-27	23,0	15,5

de cada una de las muestras. La ecuación de correlación lineal entre la CIC y la materia orgánica presenta un coeficiente de determinación elevado (r^2=0,74). En cambio, la correlación lineal entre la CIC y la fracción granulométrica arcillas es muy baja, debido a la heterogeneidad de las muestras, con suelos descarbonatados y otros en los cuales los carbonatos son el componente mayoritario. La fracción fina de carbonatos (caliza activa), parte de la cual se incluye en la fracción granulométrica arcillas, presenta un tamaño similar a la mayoría de los minerales de arcilla sin aportar descompensación eléctrica. El establecimiento de una ecuación de regresión múltiple entre la CIC y las arcillas y caliza activa mejora substancialmente el coeficiente de determinación (R^2=0,65) pero el mejor ajuste se obtiene al establecer una regresión múltiple a partir de las variables independientes materia orgánica (MO), porcentaje de arcillas y caliza activa:

CIC (cmolc/kg) = 1,92•%MO + 0,37•%arcillas - 0,17•%caliza activa + 0,32
Siendo R^2=0,92 y el error estándar de la estimación (EEE) = 1,56.

La mayoría de ecuaciones de predicción de la CIC se establecen a partir de la fracción arcilla y la materia orgánica y eventualmente el pH (Bell y van Keulen, 1995; Johnson *et al.*, 2000; Saña *et al.*, 1996). En nuestro caso la alta participación de la caliza activa en algunas muestras (suelos desarrollados sobre calizas margosas) y la ausencia en otras (algunos perfiles desarrollados sobre calizas duras) ha hecho necesario la inclusión de este parámetro para poder reducir la distorsión generada por los carbonatos sobre la correspondencia entre fracción granulométrica arcillas y minerales de arcilla.

El elevado coeficiente de determinación y un error estándar de la estimación moderadamente bajo ponen de manifiesto que esta ecuación puede ser un instrumento útil para la predicción de la CIC en estos suelos, al mismo tiempo que nos permite inferir cualidades intrínsecas asociadas a los componentes que intervienen. En la Fig. 1 se representa la recta de regresión entre la CIC medida mediante el método de saturación con acetato amónico y la estimada a partir de la

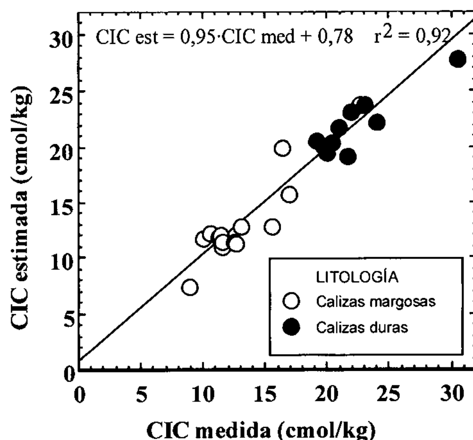


Fig. 1. Relación entre la capacidad de intercambio catiónico (CIC) medida y la calculada.

Fig. 1. *Relationship between measured and estimated cation exchange capacity (CEC).*

ecuación de correlación obtenida. Para facilitar la comparación de los suelos desarrollados sobre calizas margosas y calizas duras, en todas las figuras se han representado las muestras con distintos símbolos, si bien todas las ecuaciones se han determinado sobre el conjunto de las 24 muestras.

A partir de esta ecuación se ha calculado la CIC media de la fracción orgánica y de la fracción granulométrica arcillas descontando la participación de los carbonatos. Se ha obtenido una CIC media de 38 cmol/kg para la fracción arcillosa y 196 cmol/kg para la materia orgánica, valores muy similares a los descritos en otros trabajos desarrollados con suelos agrícolas de Cataluña (Saña *et al.*, 1996).

Hay evidencias de que partículas correspondientes a la fracción granulométrica limos pueden contribuir a la CIC, ya sea por el tamaño de algunos agregados de minerales de arcilla que sobrepasan los 2 µm o por la fijación de minerales de arcilla en la superficie de limos y, eventualmente, arenas (Turpault *et al.*, 1996; Peinemann *et al.*, 2000). En nuestro caso, la inclusión de los limos en las ecuaciones de regresión previas no ha contribuido en una mejora de los coeficientes de determinación.

Relación del PMP con otros parámetros

En la Tabla 1 se presentan los valores del PMP (porcentajes en peso). Los valores se distribuyen a través de un rango amplio, entre 6,5 y 18,0% de humedad. Igual que ocurre con la CIC hay una clara diferenciación entre las muestras correspondientes a los suelos desarrollados sobre calizas margosas (entre 6,5 y 12,4%) y las correspondientes a los suelos desarrollados sobre calizas duras (entre 14,0 y 18,0%).

El PMP depende del contenido en materia orgánica y del tamaño de las partículas, con una importancia directamente proporcional a su superficie específica (Kutílek y Nielsen, 1994; Bigorre *et al.*, 2000).

Se han desarrollado numerosas ecuaciones de predicción para el cálculo de relaciones hídricas en suelos. En las ecuaciones de predicción del PMP los parámetros más habituales de partida son: las distintas fracciones granulométricas, con una importancia inversamente proporcional al tamaño de las partículas, y la materia orgánica (McBrantney *et al.*, 2002; Saña *et al.*, 1996; Bell y Keulen, 1995; Tietje y Tapkenhinrichs, 1993).

Al establecer una ecuación de regresión múltiple del PMP respecto a los contenidos de materia orgánica, arcillas y caliza activa se alcanza un coeficiente de determinación de 0,91. Si se incluye la fracción limos la precisión de esta ecuación queda mejorada quedando del siguiente modo:

PMP (%Hm) = 0,75•%MO + 0,26•%arcillas + 0,06•%limos - 0,14•%caliza activa + 0,21
Siendo R^2=0,93 y EEE = 0,86.

En este caso la contribución de la fracción orgánica es más reducida que en el caso de la CIC, con una mayor aportación de la fracción mineral. Estos resultados demuestran que, en estos suelos, es posible inferir el PMP con un nivel de precisión elevado a partir de estos cuatro componentes: materia orgánica, arcillas, limos y caliza activa (Fig. 2).

Relación entre la CIC y el PMP

Los factores que gobiernan la CIC tienen aspectos comunes con la adsorción de agua en la superfície de las partículas. La capacidad de intercambio catiónico se centraliza, sobretodo,

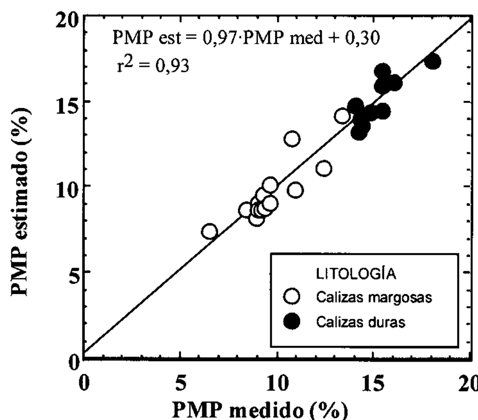


Fig. 2. Relación entre el agua retenida a -1,5 MPa (PMP) medida y la estimada.
Fig. 2. *Relationship between measured and estimated water retention at -1,5 MPa (PWP).*

en el entorno de los minerales de arcilla y las substancias húmicas. Por otro lado, el agua retenida a potenciales matriciales bajos se localiza adsorbida a la superficie de las partículas sólidas, dependiendo la cantidad de la superficie específica y la naturaleza de las partículas (Bigorre *et al.*, 2000).

Al establecer una correlación lineal entre la CIC y el PMP se aprecia una correspondencia muy elevada (Fig. 3), pudiéndose explicar el 93% de los valores de la CIC de estos suelos a partir del PMP:

CIC (cmolc/kg) = 1,73•PMP (%Hm) - 3,93
Siendo r^2=0,93 y EEE = 1,54.

De igual forma podemos calcular el PMP a partir de la CIC de estos suelos:

PMP(%Hm) = 0,54•CIC(cmolc/kg) + 2,96
Siendo r^2=0,93 y EEE = 0,86.

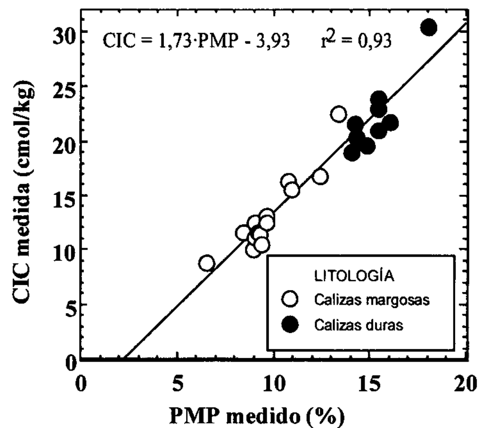


Fig. 3. Relación entre el agua retenida a -1,5 MPa (PMP) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC).
Fig. 3. *Relationship between water retention at -1,5 MPa (PWP) and cation exchange capacity (CEC).*

Tabla 2. Contribución relativa de las fracciones orgánica y mineral a la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y agua retenida a -1,5 MPa (PMP).
Table 2. *Relative contribution of organic and mineral fractions to cation exchange capacity (CEC) and water retention at -1,5 MPa (PWP).*

Perfil	Capa (cm)	CIC		PMP	
		Fracción orgánica (%)	Fracción mineral (%)	Fracción orgánica (%)	Fracción mineral (%)
C-1	0-18	25,6	74,4	13,7	86,3
C-2	0-10	74,3	25,7	44,3	55,7
	10-24	33,4	66,6	17,7	82,3
C-3	0-18	43,0	57,0	23,2	76,8
	18-40	33,9	66,1	18,5	81,5
	40-65	34,9	65,1	17,0	83,0
	65-81	28,0	72,0	14,2	85,8
	81-120	27,6	72,4	15,4	84,6
C-4	0-7	44,1	55,9	21,4	78,6
	7-20	30,3	69,7	14,5	85,5
C-5	0-10	63,6	36,4	42,2	57,8
	10-18	38,1	61,9	20,2	79,8
C-6	0-8	64,4	35,6	28,0	72,0
	8-22	57,2	42,8	25,0	75,0
J-1	0-12	52,0	48,0	29,1	70,9
	12-27	31,8	68,2	16,9	83,1
J-2	0-8	41,5	58,5	24,7	75,3
	8-16	42,7	57,3	23,3	76,7
	16-42	33,4	66,6	17,3	82,7
J-3	0-12	54,0	46,0	32,9	67,1
J-4	0-12	56,0	44,0	30,0	70,0
	12-25	37,2	62,8	19,8	80,2
J-5	0-11	61,4	38,6	40,6	59,4
	11-27	42,2	57,8	24,7	75,3

Contribución de la materia orgánica y la fracción mineral a la CIC y al PMP

A partir de las ecuaciones de regresión para el cálculo de la CIC y el PMP podemos inferir la participación de las fracciones orgánica y mineral en cada uno de estos parámetros (Tabla 2).

La CIC de la materia orgánica de estos suelos quintuplica la presentada por las partículas minerales correspondientes a la fracción granulométrica arcillas, una vez descontada la caliza activa presente. La contribución de la materia orgánica a la CIC oscila entre el 26 y 74%, siendo las diferencias independientes de la naturaleza litológica de los suelos. Al comparar la contribución de la fracción orgánica a lo largo de los perfiles se aprecia en todos los casos una disminución al aumentar la profundidad, siendo un indicador de una reducción proporcionalmente mayor de materia orgánica que de los minerales de arcilla. En suelos agrícolas de Cataluña, Porta *et al.* (1985) señalan una participación media de la fracción mineral en la CIC del 65% y la fracción orgánica del 35%. Exceptuando el perfil C-1 (Tabla 2), en el resto de suelos la participación de la materia orgánica supone más de un tercio del total de la CIC. Toda gestión del suelo que favorezca el incremento de materia orgánica (p.e.: aportaciones orgánicas, reducción del laboreo, no laboreo y forestación) se traducen en una mayor participación de la materia orgánica en el global de la CIC. Considerando la CIC de la fracción mineral casi invariable a medio plazo, la modificación del contenido en materia orgánica se plantea como la alternativa más viable en la mejora de este parámetro básico de fertilidad química. En este sentido, los porcentajes de participación de las fracciones orgánica y mineral en la CIC son un índice interesante en la evaluación de la fertilidad potencial de un suelo.

El agua retenida en el PMP tiene una relación directa con la superficie específica de las partículas. Al comparar las contribuciones de las fracciones orgánica y mineral en la CIC y en el PMP se aprecia como la participación de la fracción mineral en la retención de agua adquiere una mayor relevancia (Tabla 2). En estos suelos, entre el 58 y 86% del agua retenida en el PMP es atribuible a la fracción mineral.

Conclusiones

Los coeficientes de determinación, así como los errores estándar de las estimaciones de las distintas ecuaciones de regresión establecidas entre la CIC y el PMP entre sí y con las fracciones granulométricas arcillas y limos, la materia orgánica y la caliza activa indican que estas ecuaciones alcanzan un nivel de precisión elevado para conocer la participación de las variables independientes sobre estos parámetros.

El 92% de la CIC se puede explicar a partir de los contenidos en materia orgánica, arcillas y caliza activa. De forma similar, a partir de la materia orgánica, las arcillas, los limos y la caliza activa explican el 93% del agua retenida en el PMP. Por otro lado la ecuación de regresión lineal entre la CIC y el PMP presenta, también, un coeficiente de determinación muy elevado.

Aunque no es habitual la inclusión de los carbonatos o la caliza activa en ecuaciones de predicción de la CIC o el PMP, en estos suelos y con el método de determinación de la textura usado para suelos calcáreos, la incorporación de la caliza activa en las ecuaciones de regresión ha mejorado de forma significativa los coeficientes de determinación.

Teniendo en cuenta las dos tipologías de suelos: suelos desarrollados sobre calizas margosas y suelos desarrollados sobre calizas duras, los altos coeficientes de determinación que presenta el análisis conjunto de los datos indica que, a pesar de las proporciones contrastadas en que se encuentran los distintos componentes (carbonatos, minerales de arcilla y materia orgánica) su naturaleza es similar.

Las ecuaciones de regresión establecidas pueden ser un instrumento útil, tanto para mejorar el conocimiento sobre las características de los componentes minerales de estos suelos como para establecer funciones de transferencia edáfica.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco del "*Estudi de la fertilitat de les terres de finques*

d'agricultura ecològica" financiado por la Conselleria d'Agricultura i Pesca del Govern de les Illes Balears.

Bibliografía

Bell, M.A. y van Keulen, H. 1995. Soil pedotransfer functions for four mexican soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59: 865-871.

Bigorre, F., Tessier, D. y Pédro, G. 2000. Contribution des argiles et des matières organiques à la rétention de l'eau dans les sols. Signification et rôle fondamental de la capacité d'échange en cations. *C.R. Acad. Sci. Paris. Sciences de la Terre et des planètes / Earth and Planetary Sciences*, 330: 245-250.

Bouma, J. 1989 Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Advances in Soil Science*, 9: 177-213.

Brady, N.C. y Weil, R.R. 1996. *The nature and properties of soils*. 11a. ed. Prentice Hall, New Jersey. 621 pp.

Farrús, E., Viete, I., Calafat, A. y Vadell, J. 2002. Toposecuencias de suelos desarrollados sobre dos litologías contrastadas: calizas margosas y calizas duras. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 45: 21-43.

Johnson, C.E., Ruiz-Méndez, J.J. y Lawrence, G.B. 2000. Forest soil chemistry and terrain atributes in a Catskills watershed. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64: 1804-1814.

Kutílek, M. y Nielsen, D.R. 1994 *Soil hidrology*. Catena Verlag. Cremlingen-Destedt. 370 pp.

McBratney, A.B., Minasny, B., Cattle, S.R. y Vervoort, R.W. 2002 From pedotransfer functions to soil inference systems. *Geoderma*, 109: 41-73.

Pachepsky, Ya.A. y Rawls, W.J. 1999. Accuracy and reliability of pedotransfer functions as affected by grouping soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63: 1748-1757.

Peinemann, N., Amiotti, N.M., Zalba, P. y Villamil, M.B. 2000. Effect of clay minerals and organic matter on the cation exchange capacity of silt fractions. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 163: 47-52.

Porta, J., Alcañiz, J.M., Castells, E., Cruañas, R., Danés, R., Felipó, M.T., Sánchez, J. y Teixidor, N. 1985. Sòl. *In:* 3. *Recursos geològics i sòl. Historia natural dels Països Catalans*. pp. 271-451.

Porta, J., López-Azevedo, M. y Rodríguez, R. 1986. *Técnicas y experimentos en edafología*. Col·legi Oficial d'Enginyers Agrònoms de Catalunya. Barcelona, 283 pp.

Saña, J., Moré, J.C. y Cohí, A. 1996. *La gestión de la fertilidad de los suelos*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 277 pp.

Tietje, O. y Tapkenhinrichs, M. 1993. Evaluation of pedo-transfer functions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57: 1088-1095.

Turpault, M.P., Bonnaud, P., Fichter, J., Ranger, J. y Dambrine, E. 1996. Distribution of cation exchange capactity between organic matter and mineral fractions in acid forest soils (Vosges mountains, France). *Europ. J. Soil Sci.*, 47: 545-556.

Wösten, J.H.M., Pachepsky, Ya.A. y Rawls, W.J. 2001. Accuracy and reliability of pedotransfer functions as affected by grouping soils. *J. of Hydrology*, 251: 123-150.